

Vehicle movement dynamics control system

Patent Number: ☐ US5455770
Publication date: 1995-10-03
Inventor(s): MERGENTHALER ROLF-HERMANN (DE); ERBAN ANDREAS (DE); HEESS GERHARD (DE); HADELER RALF (DE)
Applicant(s): BOSCH GMBH ROBERT (DE)
Requested Patent: ☐ DE4305155
Application Number: US19940198695 19940218
Priority Number (s): DE19934305155 19930219
IPC Classification: B60T8/32; B60T8/64
EC Classification: B60T8/00B4, B60T8/00B10H
Equivalents: AT31994, ☐ AT408641B, ☐ BR9400606, ☐ GB2275312, ☐ JP6247269

Abstract

A brake controller is connected downstream of a primary vehicle dynamics computer and has a channel for controlling the yaw velocity at a desired value, and a channel for limiting the sideslip angle. The computer prescribes the desired value and the limit value, and determines which channel is effective on the basis of the driving situation. The two channels generate a control signal which is routed via a control amplifier having a proportional component and a differential component. An actuating signal which is used to input braking pressure at the wheel brakes is formed from the resulting signal components, the instantaneous driving situation being assigned in both cases to one of a plurality of classes, and this assignment being co-used to determine the wheels at which braking pressure is input.

Data supplied from the esp@cenet database - I2



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 43 05 155 A 1

51 Int. Cl.⁵:
B 60 T 8/32

21 Aktenzeichen: P 43 05 155.3
22 Anmeldetag: 19. 2. 93
43 Offenlegungstag: 25. 8. 94

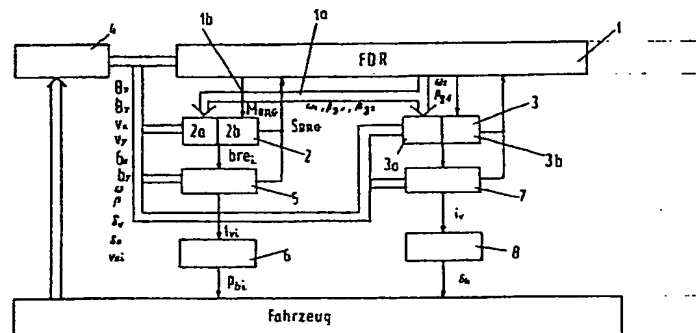
DE 43 05 155 A 1

71 Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:
Heess, Gerhard, Dipl.-Ing. Dr., 7557 Iffezheim, DE;
Mergenthaler, Rolf-Hermann, Dipl.-Ing., 7250
Leonberg, DE; Erban, Andreas, Dipl.-Ing., 7120
Bietigheim-Bissingen, DE; Hader, Ralf, Dipl.-Ing.
Dr., 7140 Ludwigsburg, DE

54 Fahrdynamikregelungssystem

57 Es wird ein Fahrdynamikregelungssystem beschrieben, das einen übergeordneten Fahrdynamikrechner aufweist, dem ein Bremsenregler nachgeschaltet ist. Dieser weist einen Kanal zur Regelung der Giergeschwindigkeit auf einen Sollwert und einen Kanal zur Begrenzung des Schwimmwinkels auf. Der Rechner gibt den Sollwert und den Grenzwert vor und bestimmt aufgrund der Fahrsituation, welcher Kanal wirksam ist. Beide Kanäle erzeugen ein Regelsignal, das über einen Regelverstärker mit Proportional- und Differentialanteil geleitet wird. Aus den entstehenden Signalanteilen wird ein Stellsignal gebildet, das zur Einsteuerung von Bremsdruck an den Radbremsen benutzt wird, wobei die augenblickliche Fahrsituation in beiden Fällen in eine von mehreren Klassen eingeordnet wird und diese Einordnung mit zur Festlegung der Räder dient, an denen Bremsdruck eingesteuert wird.



DE 43 05 155 A 1

Beschreibung

Stand der Technik

Ein Fahrdynamikregler mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1 ist aus der DE 40 30 724 A1 bekannt, wobei dort Ausgangspunkt ein ABS ist.

Vorteile der Erfindung

Die erfindungsgemäße modulare Fahrdynamikregelung ist hierarchisch organisiert und gliedert sich in den Fahrdynamikrechner (FDR) mit den unterlagerten Modulen Bremsenregelung (BRG) und in weiterer Ausbildung Hinterachslenkregelung (HHL). Diesen Modulen sind die Stellsysteme Radregler und hydraulische Hinterachslenkung untergeordnet.

Vor allem der untrainierte Fahrer wird durch die Fahrdynamikregelung bei kritischen Fahrsituationen unterstützt. Das Fahrzeug wird auch bei extremen Situationen stabilisiert. Die Abbremsung erfolgt bei einer kritischen Situation selbsttätig, sofern das Fahrzeug mit einer Einrichtung zur fahrerunabhängigen Bremsung ausgerüstet ist. Spurabweichung und Bremsweg werden reduziert.

Neben diesen in der folgenden Beschreibung genauer beschriebenen Modulen FDR und den unterlagerten Modulen BRG und HHL ist es möglich, bei Bedarf weitere Module wie Fahrwerksregelung, korrigierende Vorderachslenkregelung und Antriebsmomentenverteilung in das Gesamtsystem einzubeziehen, ohne bereits bestehende unterlagerte Module ändern zu müssen.

Figurenbeschreibung

Anhand der Zeichnung wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben. Es zeigt Fig. 1 ein Blockschaltbild eines Fahrdynamikregelungssystems mit einem übergeordneten Fahrdynamikrechner 1, einem unterlagerten Bremsenregler 2 und einem unterlagerten Hinterachslenkungsregler 3. Ein Block 4 stellt die Meßdatenerfassung dar.

Die Meßdatenerfassung liefert ein Giergeschwindigkeitssignal w , ein z. B. aus der Quergeschwindigkeit V_y abgeschätztes Schwimmwinkelsignal β ($\hat{\beta}$), Radgeschwindigkeit V_{Ri} , Lenkwinkelsignale δ_V , δ_H , die Fahrzeuggeschwindigkeit V_x und V_y und die Beschleunigungen.

Vom Fahrdynamikrechner (FDR) erhält der Bremsenregler (BRG) über die Datenschnittstelle die Soll- und Grenzwerte sowie den Regelmodus mitgeteilt. Die Zustandsgrößen sind dem FDR und den unterlagerten Modulen zugänglich.

Der Bremsenregler besteht aus einem Gierwinkelgeschwindigkeitsregler 2a und einem Schwimmwinkelregler 2b zur Begrenzung des Schwimmwinkels. Je nach Fahrsituation wird in Abhängigkeit des Bremsreglereingriffs (bre_i) von einem unterlagerten Radregler 5 am jeweiligen Rad der momentane Sollradschlupf erhöht bzw. der Sollradbremsdruck erniedrigt. Die vom Radregler ausgegebenen Ventilöffnungszeiten werden von einer 4-Kanal-Hydraulik 6 in entsprechende Radbremsdruckänderungen umgesetzt.

Der Hinterachslenkregler 3 arbeitet als Gierwinkelgeschwindigkeitsregler und kann zur Unterstützung der Bremsenregelung bei hohen Schwimmwinkeln den Hinterradlenkwinkel entsprechend verstellen. Der Hinterradlenkwinkel wird über einen Regler 7 von der HHL-Hydraulik 8 eingestellt.

Der Fahrdynamikrechner bestimmt den Sollwert der Giergeschwindigkeit. Zur Bestimmung dieses Sollwerts wird zunächst die reibwertunabhängige Gierverschärkung g_{refa} aus der Fahrzeuglängsgeschwindigkeit V_x und dem Parameter für die charakteristische Geschwindigkeit V_{ch} des Fahrzeugs berechnet.

$$g_{refa} = \frac{1}{l_{sp}} * \frac{V_x}{1 + \frac{V_x^2}{V_{ch}^2}} \quad \text{mit } l_{sp} \text{ dem Achsabstand}$$

Der Maximalwert für g_{refa} orientiert sich an der maximal fahrbaren Querbeschleunigung b_{ymax} . Damit muß folgende Bedingung erfüllt sein:

$$g_{refa} \leq \frac{b_{ymax}}{V_x * \sqrt{V_x^2 + V_{ch}^2}} \quad b_{ymax} = 9 \text{ m/s}^2$$

Neben der reibwertunabhängigen Gierverschärkung g_{refa} wird eine vom ausgenutzten Reibwert μ_A abhängige

Gierverstärkung g_{refb} eingeführt. Zu deren Bestimmung wird der ausgenutzte Reibwert μ_A benötigt. Dieser kann z. B. wie folgt bestimmt werden:

$$\mu_A \approx \frac{1}{g} * \sqrt{B_x^2 + B_y^2}$$

5

Beschränkt man sich nur auf gebremste Manöver, kann auf die Querbeschleunigung verzichtet werden, die Beschleunigung ist dann ausreichend und kann aus dem Gradienten der Referenzgeschwindigkeit bestimmt werden.

10

$$\mu_A \approx \frac{1}{g} * |v_{refp}| \quad \text{mit } v_{refp} \text{ der Referenz- beschleunigung}$$

15

Es gilt:

20

$$g_{refb} = \left| \frac{p_{by} * \mu_A * g}{v_x * \delta_v} \right|$$

25

Zudem muß folgende Bedingung erfüllt sein:

30

$$g_{refb} \leq g_{refa}$$

Durch Multiplikation der beiden Gierverstärkungen mit dem Lenkwinkel erhält man die dazu entsprechenden Gierwinkelgeschwindigkeiten.

35

$$w_a = g_{refa} * \delta_v,$$

$$w_b = g_{refb} * \delta_v.$$

Um die Lenkwilligkeit des Fahrzeugs besonders auf niedrigen Reibwerten zu erhöhen, wird in Abhängigkeit des vom Fahrer vorgegebenen Lenkwinkelgradienten der Sollwert für die Gierwinkelgeschwindigkeit kurzzeitig überhöht. Dazu wird der Sollwert der Gierwinkelgeschwindigkeit für kurze Zeit auf einen Wert erhöht, der größer als die reibwertabhängige Gierwinkelgeschwindigkeit w_b ist. Nachdem die schnelle Lenkbewegung abgeschlossen ist (kleiner Lenkwinkelgradient), klingt diese Überhöhung nach einer Übergangsfunktion wieder auf ihren reibwertabhängigen Gierwinkelgeschwindigkeitswert w_b ab. Damit kann das Ansprechen des Fahrzeugs auf schnelle Lenkradbewegungen deutlich verbessert werden.

40

45

Zunächst wird der Betrag des gefilterten Gradienten des Lenkwinkels gebildet:

$$\delta_{vp}(k+1) = \delta_{vp}(k) + \frac{\tau}{t_{p_vp}} * \left\{ \frac{1}{\tau} * \left[\delta_v(k) - \delta_v(k-1) \right] - \delta_{vp}(k) \right\}$$

50

55

mit dem Lenkwinkelgradienten δ_{vp} , der Abtastrate des Rechners τ und dem Filterparameter für den Lenkwinkelgradienten t_{p_vp} mit der Bedingung: Wenn $\delta_{vp} < \delta_{vpmin}$ dann wird $\delta_{vp} = 0$ gesetzt.

60

Die Übergangsfunktion $dt1_ \delta_{vp}$ für δ_{vp} wird mit Hilfe von δ_{vp} gebildet:

65

$$\text{dt1_} \delta_{vp}(k+1) = \text{kvd} * \delta_{vp}(k) + \left\{ 1 - \frac{\bar{t}}{\text{tp_dt1_} \delta_{vp}} \right\}$$

$$* \text{dt1_} \delta_{vp}(k) \leq 1.0,$$

mit dem Verstärkungsfaktor kvd für δ_{vp} und dem Filterparameter tp_dt1_ δ_{vp} für die Übergangsfunktion dt1_ δ_{vp} . Daraus wird der Gewichtungsfaktor dt1_ lenk erzeugt. Der Faktor p_ lenk dient zur Applikation des Ansprechverhaltens des Fahrzeugs:

$$\text{dt1_lenk} = \text{dt1_} \delta_{vp} * \text{p_lenk}.$$

Den Sollwert für die Gierwinkelgeschwindigkeit erhält man aus den mit dt1_ lenk gewichteten Anteilen w_a und w_b . Mit p_max_{wa} wird die maximale Überhöhung bestimmt ($p_{\text{max}_{wa}} < 1$). Das Soll-Gierverhalten des Fahrzeugs wird durch ein Modell in Form eines Verzögerungsgliedes mit geschwindigkeitsabhängigem Parameter bestimmt.

Man erhält damit den Sollwert der Giergeschwindigkeit w_s .

$$w_s(k+1) = w_s(k) + \frac{\bar{t}}{t_{\text{ref}}} * [\text{dt1_lenk} * \text{p_max}_{wa} * w_a + (1 - \text{dt1_lenk}) * w_b - w_s(k)]$$

Der Parameter t_{ref} (Zeitkonstante des Referenzmodells) wird aus folgender Beziehung gewonnen:

$$t_{\text{ref}} = t_{\text{ref0}} + \text{ptref} * (V_x - V_{ch}).$$

Hierbei ist t_{ref0} die Grundzeitkonstante des Modells und ptref ein Parameter zur v_x und v_{ch} abhängigen Anpassung von t_{ref} .

Der Fahrdynamikrechner 1 bestimmt auch den Grenzwert für den Schwimmwinkel β_g .

Der gefilterte Ist-Schwimmwinkel selbst wird entweder aus der gemessenen oder der geschätzten Quergeschwindigkeit v_y gewonnen.

$$\beta(k+1) = \beta(k) + \frac{\bar{t}}{\text{tp_}\beta} * \left\{ \frac{-v_y}{v_x} - \beta(k) \right\}$$

mit dem Filterparameter tp_ β der β -Berechnung.

Aus einem Kennfeld, dessen Argumente die Fahrgeschwindigkeit und der ausgenutzte Reibwert μ_A sind, wird der Grenzwert für den Schwimmwinkel des Fahrzeugs bestimmt. Das Vorzeichen ergibt sich aus dem Ist-Schwimmwinkel β . Durch Filterung des Rohwertes β_{rg} erhält man dann den Grenzwert für den Schwimmwinkel β_{g1} .

$$\beta_{rg} = \text{sign}(\beta) * \beta_g(\mu_A, v_x)$$

$$\beta_{g1}(k+1) = \beta_{g1}(k) + \frac{\bar{t}}{\text{tp_}\beta_g} * (\beta_{rg}(k) - \beta_{g1}(k))$$

mit tp_ β_g dem Filterparameter r der β_g -Berechnung.

Aus diesem Grenzwert wird ein zweiter Grenzwert β_{g2} gebildet, der wesentlich über dem Grenzwert β_{g1} liegt.

Er dient zur Erkennung einer besonders kritischen Situation.

$$\beta_{g2} = p_{krit} \cdot \beta_{g1}$$

mit $p_{krit} = 2,0$ (z. B.).

Durch den Vergleich der Istwerte mit dem Soll- bzw. Grenzwert für Gierwinkelgeschwindigkeit und Schwimmwinkel wird im Fahrdynamikrechner 1 auch der Fahrzustand bestimmt und daraus der Regelmodus abgeleitet. Es wird zwischen den beiden Regelmodi "w-Regelung" und "-Begrenzung" unterschieden. Bei stabilem Fahrzustand wird die Gierwinkelgeschwindigkeit geregelt, bei Erreichen von β_{g1} mit weiter ansteigender Tendenz wird der Schwimmwinkel auf den Grenzwert β_{g1} begrenzt. Bei Überschreiten des Grenzwerts β_{g2} und bei entsprechender Fahrzeuggeschwindigkeit liegt in jedem Fall der Regelmodus "β-Begrenzung" vor.

Um eine weitere Zu- oder Abnahme des Schwimmwinkels zu erkennen, ist es nötig dessen Gradienten zu bestimmen. Dies geschieht durch Differentiation und anschließender Filterung von β .

$$\beta_{pfil}(k+1) = \beta_{pfil}(k) + \frac{\bar{\epsilon}}{tp_{\beta} \cdot \beta_p} \cdot$$

$$\left\{ \frac{\beta(k) - \beta(k-1)}{\bar{\epsilon}} - \beta(k) \right\}$$

mit tp_{β} dem Filterparameter der β_{pfil} -Berechnung.

Der Regelmodus "β-Begrenzung" liegt vor, wenn gilt:

Bei Fahren einer Linkskurve

$$\beta > 0 \cdot [(\beta > \beta_{g1} \cdot \beta_{pfil} > 0) + \beta > \beta_{g2}]$$

Bei Fahren einer Rechtskurve

$$\beta < 0 \cdot [(\beta < \beta_{g1} \cdot \beta_{pfil} < 0) + \beta < \beta_{g2}]$$

Das Zeichen "-" steht dabei für logische UND-Verknüpfung.

Das Zeichen "+" steht für logische ODER-Verknüpfung.

In allen anderen Fällen liegt der Modus "w-Regelung" vor. Jedoch gibt es generell wirksame Bedingungen den Regelmodus "β-Begrenzung" abubrechen und wieder den Modus "w-Regelung" zu wählen. Diese Bedingungen lauten:

Bei Unterschreiten einer bestimmten Geschwindigkeitsschwelle v_{xbs} wird in jedem Fall der Modus "w-Regelung" wirksam, d. h.:

$$\text{Wenn } V_x < v_{xbs}$$

dann "w-Regelung".

In bestimmten Situationen ist es zweckmäßig, den Soll- und Istwert der Gierwinkelgeschwindigkeit bei bestehendem Modus "β-Begrenzung" als Kriterium zum Wechsel des Modus auf "w-Regelung" heranzuziehen.

$$\text{Wenn } |\beta| < |\beta_{g2}| \cdot [(|w| < p_{\beta w} \cdot |w_{soll}|) + (w \cdot w_{soll} < 0)]$$

dann "w-Regelung".

Eine Stabilisierung des Fahrzeugs durch die modulare Fahrdynamikregelung kann nur dann erfolgen, wenn ausreichend Vordruck zur Kontrolle der Räder durch die Bremsenregelung vorhanden ist. Wenn der Fahrer zu wenig Vordruck zur Verfügung stellt, oder überhaupt nicht bremst, ist eine Stabilisierung des Fahrzeugs unter Umständen nicht mehr gewährleistet. Daher ist es sinnvoll in kritischen Situationen eine selbständige Abbremsung des Fahrzeugs auszulösen bzw. einen ausreichenden Vordruck zur Verfügung zu stellen.

Ein Auslösen der aktiven Bremse erfolgt aufgrund einer hohen Regeldifferenz bezüglich der Gierwinkelgeschwindigkeit und/oder wegen eines zu hohen Schwimmwinkels. Beide Bedingungen können sich gegenseitig nicht ausschließen.

Der Fahrdynamikrechner 1 bewertet zunächst die Regelabweichung der Gierwinkelgeschwindigkeit. Besteht über eine gewisse Zeit eine deutliche Regelabweichung der Gierwinkelgeschwindigkeit von ihrem Sollwert und hat diese Regelabweichung eine weiter ansteigende Tendenz, dann signalisiert FDR durch Erzeugen eines Signals "AKTIVE BREMSE" dem unterlagerten Bremsenregler, daß ein aktiver Vordruckaufbau erfolgen soll.

Dazu wird zunächst die Regelabweichung der Gierwinkelgeschwindigkeit gebildet und stark gefiltert (Filter

als Mittelwertbildner), damit nicht jede unwesentliche Abweichung zu einer Auslösung der aktiven Bremse führt.

$$\begin{aligned} \text{err_w_fil}(k+1) &= \text{err_w_fil}(k) + \frac{\varepsilon}{\text{tp_err_w_fil}} * \\ &* [w_s(k) - w(k) - \text{err_w_fil}(k)] . \end{aligned}$$

Gradientenbildung der gefilterten Regelabweichung:

$$\text{err_w_pfil}(k+1) = \frac{1}{\varepsilon} * [|\text{err_w_fil}(k)| - |\text{err_w_fil}(k-1)|] .$$

Überschreitet die Regelabweichung eine Schwelle mit weiter ansteigender Tendenz, so erfolgt die Zurverfügungstellung des Vordrucks.

Wenn $|\text{err_w_fil}| > \text{err_w_aktiv_ein} \cdot [\text{err_w_pfil} > 0]$

dann wird die AKTIVE BREMSE bereitgestellt. Hierin ist err_w_aktiv_ein eine vorgegebene Konstante.

Neben der Gierwinkelgeschwindigkeit wird auch der Schwimmwinkel des Fahrzeugs in die Situationserkennung zur Auslösung eines aktiven Vordruckaufbaus mit einbezogen. Überschreitet der Schwimmwinkel eine bestimmte Schwelle (abhängig vom ausgenutzten Reibwert) mit weiter ansteigender Tendenz, wird der Bremsenregler ebenfalls zum aktiven Vordruckaufbau veranlaßt. Unterschreitet der Schwimmwinkel eine bestimmte Schwelle mit abfallender Tendenz wird die "AKTIVE BREMSE" zurückgesetzt. Es handelt sich hier um eine Hysteresefunktion.

Wenn $[|\beta| > |\beta_{g1}| \cdot p\beta_ein] \cdot [\beta \cdot \beta_{pfil} > 0] + |\beta| > |\beta_{g2}|]$

dann wird die AKTIVE BREMSE wirksam gemacht. Hiermit ist $p\beta_ein$ eine Konstante.

Das Zeichen "." steht für logische UND-Verknüpfung.

Das Zeichen "+" steht für logische ODER-Verknüpfung.

Der Parameter $p\beta_ein$ dient zur Applikation der Schwimmwinkelgrenze, bei deren Überschreitung eine aktive Bremsung erfolgen soll.

Zudem gelten folgende Rücksetzbedingungen:

Wenn $[|\beta| < |\beta_{g1}| \cdot p\beta_aus] \cdot [\beta \cdot \beta_{pfil} < 0]$

dann wird die AKTIVE BREMSE ausgeschaltet.

Bei Unterschreiten einer bestimmten Geschwindigkeitsschwelle $v_{x_aktiv_off}$ ist keine aktive Bremsung mehr erlaubt.

Wenn $VX < v_{x_aktiv_off}$

dann wird die AKTIVE BREMSE abgeschaltet.

Der Modus "Aktive Bremsung" existiert parallel zu den Modi "w-Regelung" und "β-Begrenzung" und kann nur von entsprechend dafür ausgerüsteten Fahrzeugen verarbeitet werden (Möglichkeit der Bereitstellung eines fahrerunabhängigen Vordrucks muß vorhanden sein). Eine aktive Bremsung kann nur bei entsprechend ausgerüsteten Fahrzeugen erfolgen (Möglichkeit der Bereitstellung fahrerunabhängigen Vordrucks muß vorhanden sein).

Wie bereits erwähnt, enthält der Bremsenregler 2 zwei getrennte Regler zur Regelung der Gierwinkelgeschwindigkeit und zur Begrenzung des Schwimmwinkels. Der vom Fahrdynamikrechner 1 vorgegebene Regelmodus bestimmt, welcher Regler die Stellgrößen erzeugt. Je nach Fahrzustand wird die Stellgröße unterschiedlich auf die einzelnen Räder aufgeteilt. Die Stellsignale des Bremsenreglers 2 werden vom unterlagerten Radregler 5 interpretiert. Unterschreiten die Regelabweichungen ein bestimmtes Maß, wird der unterlagerte Radregler 5 nicht von der Bremsenregelung beeinflusst. Der Radregler 5 hat die Aufgabe, die Räder zu stabilisieren und die Bremskräfte am j weiligen Rad zu optimieren.

Der Gierwinkelgeschwindigkeitsregler 2a wird aktiviert, wenn der Fahrdynamikrechner 1 den Modus "w-Regelung" vorgibt (Leitung 1b). Der Gierwinkelgeschwindigkeitsregler 2a arbeitet als nichtlinearer PDT₁-Regler und bildet aus der Regelabweichung ε_w die beiden Reglerausgangsgrößen p_w und dtl_w . Für die Regelabweichung erhält man:

$$\varepsilon_w(k) = w_s(k) - w(k).$$

Für den Proportionalanteil p_w ergibt sich:

$$p_w = \varepsilon_w(k) \cdot K_{p_w},$$

wobei K_{p_w} ein Verstärkungsfaktor ist.

Für den differentiellen Anteil erhält man, wobei v_{dtl_w} als Faktor zur Anhebung des dtl_w -Anteils dient:

$$dtl_w(k+1) = v_{dtl_w} \cdot \frac{\varepsilon_w(k) - \varepsilon_w(k-1)}{\bar{t}} + dtl_w(k) \cdot \left\{ 1 - \frac{\bar{t}}{t_{dtl_w}} \right\}$$

ist eine Abklingzeitkonstante.

Von der sich anschließenden Stellgrößenverteilung werden nur Beträge der Regleranteile bzw. das Summensignal aus proportionalem und differentiellem Anteil weiterverarbeitet. Ein Abregelfaktor schwächt die Stellgrößen in Abhängigkeit der Fahrzeuggeschwindigkeit linear ab, sobald die Fahrzeuggeschwindigkeit eine gewisse Schwelle v_{ab} unterschritten hat.

$$pabs_w = |p_w| \cdot abr_faktor,$$

$$pdtlabs_w = |p_w + dtl_w| \cdot abr_faktor.$$

Für den Abregelfaktor gilt:

Wenn $V_x > v_{ab}$
dann $abr_faktor = 1$

$$\text{sonst } abr_faktor = \frac{V_x - v_{min}}{v_{ab} - v_{min}}$$

v_{min} ist die Abbruchgeschwindigkeit und v_{ab} eine vorgegebene Schwelle.

Eine Unempfindlichkeitszone w_{tot} wird als Funktion von w_a auf folgende Weise bestimmt:

$$w_{tot}(k+1) = w_{tot}(k) + \frac{\bar{t}}{t_{ref}} \cdot [(w_{tot_par} \cdot |w_a(k)| + w_{tot_0}) - w_{tot}(k)]$$

mit der Zeitkonstanten t_{ref} und dem Parameter w_{tot} für den Unempfindlichkeitsbereich.

Dabei muß w_{tot} innerhalb eines bestimmten Bereichs liegen:

$$w_{tot_min} < w_{tot} < w_{tot_max}.$$

Vor der Weiterverarbeitung der beiden Reglerausgangsgrößen durch die Stellgrößenverteilung muß der Fahrzustand des Fahrzeugs in Relation zum Fahrerwunsch ermittelt werden. Je nach Regelabweichung ε_w und Lenkwinkel δ_v wird in im Regelmodus "w-Regelung" fünf Fahrzustände unterschieden, die wie folgt klassifiziert sind:

Linkskurve, übersteuernd: $\delta_v \geq 0 \cdot \varepsilon_w < 0 \cdot |\varepsilon_w| > w_{tot}$.

Linkskurve, untersteuernd: $\delta_v \geq 0 \cdot \varepsilon_w > 0 \cdot |\varepsilon_w| > w_{tot}$.

Neutral: $|\varepsilon_w| \leq w_{tot}$.

Rechtskurve, übersteuernd: $\delta_w < 0 \cdot \varepsilon_w > 0 \cdot |\varepsilon_w| > w_{tot}$.

Rechtskurve, untersteuernd: $\delta_w < 0 \cdot \varepsilon_w < 0 \cdot |\varepsilon_w| > w_{tot}$.

5 Bemerkung: Das Zeichen "·" steht für logische UND-Verknüpfung.

Der Fahrzustand Neutral liegt vor, wenn die Regelabweichung innerhalb der Unempfindlichkeitszone $Zone[-w_{tot}; w_{tot}]$ liegt.

Aus dem im Regler 2 ermittelten Fahrzustand und den beiden Reglerausgangsgrößen werden die Bremsreglersignale bre_i für den unterlagerten Radregler 5 gebildet. Je nach Vorzeichen der Bremsreglersignale bre_i führt dies zu einer Erhöhung des Radschlupfs ($bre_i > 0$) oder einer Druckabsenkung ($bre_i < 0$) am entsprechenden Rad. Die Erhöhung des Radschlupfs über den vom Radregler bereits eingestellten Wert hinaus hat ein Abnehmen der Querkraft bei geringfügiger Änderung der Längskraft zur Folge. Eine Bremsdruckabsenkung vermindert die Längskraft unter Erhöhung des verfügbaren Querkraftpotentials am jeweiligen Rad. Dadurch werden Giermomente um die Fahrzeughochachse erzeugt, die auf das Fahrzeug stabilisierend wirken.

15 Die Stellsignale für den unterlagerten Radregler werden in Abhängigkeit vom Fahrzustand gebildet. Für die fünf oben beschriebenen Fälle sind in der Tabelle I die Reaktionen aufgelistet.

Der dort verwendete Parameter g_{sew} dient zur Umnormierung der Reglerausgangsgrößen in entsprechende Schlupferhöhungen am jeweiligen Rad. Der Parameter g_{paw} dient zur Anpassung der Reglerausgangsgrößen, um eine entsprechende Druckreduzierung am betreffenden Rad zu erreichen. Wenn das Stellsignal $bre_i > 0$ ist und dementsprechend eine Schlupferhöhung am Rad i erfolgen soll, so wird der Stelleingriff auf s_{max} begrenzt, um zu hohe Schlupfwerte zu vermeiden.

$$bre_i < s_{max}.$$

25 Der Regler 2b zur Begrenzung des Schwimmwinkels arbeitet ebenfalls als nichtlinearer PDT₁-Regler und tritt in Aktion, wenn der Fahrdynamikrechner 1 über Leitung 1b den Modus "β-Begrenzung" vorgibt. Aus der Regelabweichung ε_β werden die beiden Reglerausgangsgrößen p_β und $dt1_\beta$ gebildet. Für die Regelabweichung erhält man:

$$30 \quad \varepsilon_\beta(k) = \beta_{gl}(k) - \beta(k).$$

Für den Proportionalanteil p_β ergibt sich:

$$p_\beta = \varepsilon_\beta(k) \cdot K_p,$$

35 wobei $K_{p\beta}$ wieder ein Verstärkungsfaktor ist.

Bei der Bildung des $dt1_\beta$ -Anteils wird festgestellt, mit welchem Gradienten $\Delta\varepsilon_\beta$ die Regelabweichung ε_β zunimmt. Der $dt1_\beta$ -Anteil wird nur dann aktualisiert, wenn der Gradient der Regelabweichung ein bestimmtes Maß $K \Delta\varepsilon_\beta$ überschreitet. Dazu wird zunächst der Gradient der Regelabweichung gebildet und gefiltert:

40

$$45 \quad \Delta \beta_{fil}(k+1) = \Delta \beta_{fil}(k) + \frac{\bar{\varepsilon}}{tp_{\Delta \varepsilon_\beta}}$$

45

$$50 \quad * \left\{ \frac{\varepsilon_\beta(k) - \varepsilon_\beta(k-1)}{\bar{\varepsilon}} - \Delta \varepsilon_{\beta fil}(k) \right.$$

55 Hiermit ist $tp_{\Delta \varepsilon_\beta}$ ein Filterparameter.

Der $dt1_\beta$ -Anteil wird aktualisiert, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$[\Delta \varepsilon_{\beta fil}(k+1) > K \Delta \varepsilon_\beta \cdot \beta < 0] + [\Delta \varepsilon_{\beta fil}(k+1) < -K \Delta \varepsilon_\beta \cdot \beta > 0].$$

60 Es ergibt sich dann für den $dt1_\beta$ -Anteil:

$$65 \quad dt1_\beta(k+1) = \Delta \varepsilon_{\beta fil}(k+1) + dt1_\beta(k) * \left\{ 1 - \frac{\bar{\varepsilon}}{tdt1_\beta} \right\}$$

ist die Abklingzeitkonstante. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, klingt der $dt1\beta$ -Anteil ab:

$$dt1\beta^{(k+1)} = dt1\beta^{(k)} * \left\{ 1 - \frac{\tau}{t dt1\beta} \right\} \quad 5$$

Vom $p\beta$ - und $dt1\beta$ -Anteil werden nur Beträge bei der sich anschließenden Stellgrößenverteilung weiterverarbeitet. Der Verstärkungsfaktor $vdt1\beta$ dient zur Anhebung des $dt1\beta$ -Anteils. 10

$$pabs\beta = |p\beta|.$$

$$dt1abs\beta = vdt1\beta * |dt1\beta|. \quad 15$$

Vor einer Weiterverarbeitung muß der Fahrzustand des Fahrzeugs in Abhängigkeit vom Schwimmwinkel β bestimmt werden. Es gibt vier Fahrzustände:

- Linkskurve, hoher Schwimmwinkel: $\beta \geq \beta_{g1} > 0$. 20
- Linkskurve, kritische Situation: $\beta \geq \beta_{g2} > \beta_{g1} > 0$.
- Rechtskurve, hoher Schwimmwinkel: $\beta \leq \beta_{g1} < 0$.
- Rechtskurve, kritische Situation: $\beta \leq \beta_{g2} < \beta_{g1} < 0$.

Die Stellsignale für den unterlagerten Radregler werden je nach Fahrzustand gebildet. Die Tabelle II gibt die Maßnahmen an, die bei den einzelnen Fahrzuständen vorgenommen werden. 25

Eine kritische Situation entsteht, wenn das Fahrzeug in einen sehr hohen Schwimmwinkel gerät, verursacht z. B. durch einen Lenkfehler des Fahrers. In dieser Situation wird ein erhöhter Stelleingriff s_{not} zugelassen, damit das Fahrzeug wieder stabilisiert werden kann.

Wird vom Fahrdynamikrechner 1 eine aktive Bremsung ausgelöst, dann greift der Bremsenregler 2 über den unterlagerten Radregler 5 auf die Hydraulikventile 6 zu und leitet einen gesteuerten Vordruckaufbau ein. Dazu werden kurzzeitig die Regelventile auf Druckhalten gestellt, bis nach Umschalten eines Umschaltventils ein Druckspeicher den nötigen Vordruck an den Regelventilen bereitstellt. Mit Hilfe der Regelventile wird nun der Radbremsdruck nach einer Übergangsfunktion (z. B. e-Funktion) in den einzelnen Radbremszylindern erhöht und damit ein zu hoher Druckaufbaugradient vermieden. Der Druckaufbau kann geregelt erfolgen, oder nach einer Pulsreihe eingesteuert werden je nachdem, ob der Vordruck meßbar ist oder nicht. Sobald der Modus "Aktive Bremsung" beendet ist, werden die Umschaltventile so eingestellt, daß der Fahrer wieder den Vordruck erzeugen kann. 30 35

Der Hinterachsenlenkalgorithmus des Hinterachsenlenkreglers der parallel zum Bremsregler arbeiten kann enthält zwei alternative Funktionseinheiten (3a und 3b): 40

- Regelung der Fahrzeug-Giergeschwindigkeit (3a)
- Begrenzung des Fahrzeug-Schwimmwinkels (3b)

Der übergeordnete Fahrdynamikrechner 1 bestimmt mittels der Größe "Regelmodus" (Leitung 1c) welche der beiden Funktionseinheiten abgearbeitet wird. Beide Funktionseinheiten erzeugen einen einzustellenden Wert für den Hinterradlenkwinkel δ_h . 45

Durch das Lenken der Hinterräder werden die Schräglaufwinkel und damit die an den Hinterrädern auftretenden Querkräfte variiert. So werden auf das Fahrzeug stabilisierende Giermomente ausgeübt. Der Giergeschwindigkeitsregler 3a bewerkstelligt dies, indem er den vom Fahrdynamikrechner 1 vorgegebenen Sollwert w_s mittels Lenken der Hinterräder einstellt. Dazu kann ein beliebiger Regelungsalgorithmus, z. B. ein PID-Regler oder eine in der DE 40 30 846-A1 beschriebene Regelung eingesetzt werden. Damit ergibt sich das in Fig. 2 gezeigte Blockschaltbild. 50

Eine Stabilisierung des Fahrzeugs bei zu hohen Schwimmwinkeln kann durch die Hinterachsenlenkwinkelregelung erreicht werden, wenn mittels Lenken eine Erhöhung der Querkräfte an den Hinterrädern erzielt wird. Dabei sollte an den Hinterrädern die maximal erreichbare Querkraft eingestellt werden. Die Querkraft ist direkt abhängig vom Schräglaufwinkel und damit vom Lenkwinkel eines Rades. 55

Wenn der optimale Schräglaufwinkelwert α_{opt} , an dem die maximale Querkraft auftritt, bekannt ist (z. B. als gemessene Kennlinie in Abhängigkeit des Reibwerts $\alpha_{opt} = f(\mu_A)$ im Fahrdynamikrechner abgelegt), dann kann mittels einer Steuerung direkt dieser Schräglaufwinkel an den Hinterrädern eingestellt werden. Für die Hinterräder gilt in guter Näherung 60

$$\alpha_h = \delta_h + \beta + (l_h \times w)/v_x$$

mit

α_h — Schräglaufwinkel Hinterräder

δ_h — Lenkwinkel Hinterräder

β — Schwimmwinkel Fahrzeug

l_h — Abstand Fahrzeugschwerpunkt — Hinterachse
 w — Gierwinkelgeschwindigkeit Fahrzeug
 v_x — Längsgeschwindigkeit Fahrzeug.

- 5 Die Steuerungsvorschrift für den Hinterradlenkwinkel zur Einstellung des optimalen Schräglaufwinkels an den Hinterrädern lautet demnach

$$\delta_h = \alpha_{opt} - \beta - (l_h \times w)/v_x.$$

- 10 Bei Unkenntnis des Wertes α_{opt} kann mittels einer Schwimmwinkelregelung ein Wert für den Hinterradlenkwinkel δ_h erzeugt werden, so daß eine Fahrzeugstabilisierung erfolgt. (Die Regelung ist analog zu der oben beschriebenen Giergeschwindigkeitsregelung.) Als Sollwert wird der vom Fahrdynamikrechner 1 vorgegebene Schwimmwinkelgrenzwert β_{g1} verwendet. Auch hier kann ein beliebiger Regelungsalgorithmus, z. B. ein PID-Regler, eingesetzt werden. Es ergibt sich dann das Blockschaltbild der Fig. 3.
- 15 Der im Block 3b ermittelte Winkelwert δ_h wird durch den Lageregler 7 und die Hydraulik 8 in den Lenkwinkel δ_h umgesetzt.

Zusammenstellung der in FDR und BRG benutzten Größen mit beispielhaften Größenangaben

- 20 abr faktor: Geschwindigkeitsabhängiger Abregelfaktor. (0 ... 1)
 β : Schwimmwinkel des Fahrzeugs.
 β_g : Rohwert des Grenzwertes für β aus Kennfeld.
 β_{g1} : Grenzwert für den Schwimmwinkel. (0,06 ... 0,18 rad)
 β_{g2} : Grenzwert für β zur Erkennung einer kritischen Situation. (0,13 ... 0,25 rad)
 β_{pfil} : Gradient des Schwimmwinkels.
 β_g : Rohwert von β_g mit Vorzeichen.
 bre_i : Stelleingriff der Bremsenregelung am Rad i.
 b_{ymax} : Maximalwert der zulässigen Querschleunigung. (10 ... 12 m/s²)
 b_{yot} : Unempfindlichkeitsbereich für Begrenzung von g_{ref} .
 B_x : Längsbeschleunigung des Fahrzeugs.
 B_y : Querschleunigung des Fahrzeugs.
 δ_v : Vorderachsenlenkwinkel.
 δ_{vp} : Gradient des Vorderachsenlenkwinkels.
 δ_{vpmin} : Schwelle für Gradient des Vorderachsenlenkwinkels. (0,1 rad/s)
 $dt1_{abs\beta}$: Betrag des gewichteten DT1-Anteils aus dem β -Regler.
 $dt1_{absw}$: Betrag des gewichteten DT1-Anteils aus dem w -Regler.
 $dt1_{\delta_{vp}}$: Übergangsfunktion für δ_{vp} .
 $dt1_{lenk}$: Gewichtungsfaktor zur Bildung von w_{soll} . (0 ... 1)
 $dt1_{\beta}$: DT1-Anteil aus dem β -Regler.
 $dt1_w$: DT1-Anteil aus dem w -Regler.
 $\Delta\epsilon_{\beta\text{ fil}}$: Gradient der Regelabweichung für den Schwimmwinkel.
 $err_{w_{fil}}$: Gefilterte Regelabweichung der Gierwinkelgeschwindigkeit.
 $err_{w_{pfil}}$: Gefilterter Gradient der Gier-Regelabweichung.
 $err_{w_aktiv_ein}$: Schwelle zur Auslösung einer aktiven Bremsung. (0,1 rad/s)
 ϵ_{β} : Regelabweichung des Schwimmwinkels.
 ϵ_w : Regelabweichung der Gierwinkelgeschwindigkeit.
 g : Gravitationskonstante (9,81 m/s²)
 $gpap$: Parameter zur Druckabbau-Anpassung im Modus "β-Begrenzung". (−0,1 ... −0,2)
 $gpaw$: Parameter zur Druckabbau-Anpassung im Modus "w-Regelung". (−0,1 ... −0,2)
 g_{refa} : reibwertunabhängige Gierversärkung.
 g_{refb} : reibwertabhängige Gierversärkung.
 g_{refmax} : Maximal zulässige Gierversärkung. (30 1/s)
 g_{sep} : Parameter zur Schlupferhöhungs-Anpassung im Modus "β-Begrenzung". (0,1 ... 0,2)
 g_{sew} : Parameter zur Schlupferhöhungs-Anpassung im Modus "w-Regelung". (0,1 ... 0,4)
 $K\Delta\epsilon_{\beta}$: Schwelle für Aktualisierung des $dt1$ -Anteils. (0,03 rad/s²)
 Kp_{β} : Verstärkung für den Proportionalanteil im β -Regler. (0,1 ... 0,3)
 Kp_w : Verstärkung für den Proportionalanteil im w -Regler. (4 ... 8)
 kvd : Verstärkungsfaktor für δ_{vp} . (0,2 ... 0,4)
 l_{sp} : Achsabstand des Fahrzeugs.
 μ_A : Ausgenutzter Reibwert.
 w : Gierwinkelgeschwindigkeit.
 w_a : reibungsunabhängiger Sollwert für die Gierwinkelgeschwindigkeit.
 w_b : reibwertabhängiger Sollwert für die Gierwinkelgeschwindigkeit.
 w_s : Sollwert für die Gierwinkelgeschwindigkeit.
 w_{tot} : Unempfindlichkeitsbereich für w -Regelung.
 w_{tot_0} : Mindestwert für Unempfindlichk it bei w -Regelung. (0,06)
 w_{tot_par} : Parameter für Unempfindlichkeitsbereich für w -Regelung. (−0,2)
 w_{tot_min} : Minimale Unempfindlichk it für w -Regelung. (0,02 ... 0,03)

w _{tot_max} : Maximale Unempfindlichkeit für w-Regelung. (0,04 ... 0,1)	
p _{abs} : Betrag des P-Anteils im -Regler.	
p _{abs_w} : Betrag des P-Anteils im w-Regler.	
p _{dt1abs_w} : Betrag der Stellgröße des w-Reglers.	
p _β : P-Anteil aus dem β-Regler.	5
p _{β_ein} : Parameter für Bestimmung der Schwimmwinkelgrenze zur Auslösung einer aktiven Bremsung. (0,8 ... 1,2)	
p _{βw} : Parameter für Moduswechsel. (0,9)	
p _{by} : Parameter zur Bestimmung von g _{refb} . (0,7)	
p _w : P-Anteil aus dem w-Regler.	10
p _{krit} : Parameter für Grenzwert β _{g2} . (2,0)	
p _{lenk} : Parameter für dt1 _{lenk} . (0,8)	
p _{max_{wa}} : Parameter für maximale Überhöhung von w _{soll} . (0,5 ... 1)	
p _{ref} : Parameter zur V _x bzw. V _{ch} abhängigen Anpassung von t _{ref} . (0,003)	
s _{max} : Max. zulässige Schlupferhöhung in unkritischer Situation. (0,40)	15
s _{not} : Max. zulässige Schlupferhöhung in kritischer Situation. (0,70)	
: Abtastrate des Rechners.	
tdt1 _β : Abklingzeitkonstante im β-Regler. (0,1 s)	
tdt1 _w : Abklingzeitkonstante im w-Regler. (0,012 s)	
tp _β : Filterparameter β-Berechnung. (0,2 s)	20
tp _{βg} : Filterparameter β _g -Berechnung. (0,25 s)	
tp _{βp} : Filterparameter β _{pfil} -Berechnung. (0,2 s)	
tp _{δ_{vp}} : Filterparameter für Lenkwinkelgradient. (0,4 s)	
tp _{dt1 δ_{vp}} : Filterparameter für Umgangsfunktion dt1 _{δ_{vp}} . (0,3 s)	
tp _{Δβ} : Filterparameter für Δβ _{pfil} -Berechnung. (0,1 s)	25
tp _{err_{wfil}} : Filterparameter für Gier-Regelabweichung. (0,5 s)	
t _{ref} : Zeitkonstante des w-Referenzmodells.	
t _{refo} : Grundzeitkonstante des w-Referenzmodells. (0,04 s)	
V _{ch} : Parameter für die charakteristische Geschwindigkeit. (17 ... 25)	
vdt1 _β : Parameter für Anhebung des DT1-Anteils im β-Regler. (0,25)	30
vdt1 _w : Parameter für Anhebung des DT1-Anteils im w-Regler. (0,4)	
v _{refp} : Referenzbeschleunigung des Fahrzeugs.	
v _{ab} : Schwelle für Abregelung. (6 m/s)	
v _{min} : Abbruchgeschwindigkeit. (2 m/s)	
V _x : Fahrzeuglängsgeschwindigkeit.	35
v _{x_aktiv_off} : Abbruchschwelle für aktives Bremsen. (5 m/s)	
v _{xbs} : Abbruchschwelle für Modus "β-Begrenzung". (3 m/s)	
V _y : Fahrzeugquergeschwindigkeit.	40
	45
	50
	55
	60
	65

Tabelle I

Stellsignale bei ω -Regelung

Fahrzustand	Art des Eingriffs
Neutral $ \varepsilon_\omega < \omega_{tot}$	Kein Eingriff $bre_{vl} = 0$ $bre_{vr} = 0$ $bre_{hl} = 0$ $bre_{hr} = 0$
Linkskurve übersteuernd $ \varepsilon_\omega > \omega_{tot}$ - $\delta_v > 0$ - $\varepsilon_\omega < 0$	Schlupferhöhung VA. $bre_{vl} = gse_\omega * pabs_\omega < s_{max}$ $bre_{vr} = gse_\omega * pabs_\omega < s_{max}$ $bre_{hl} = 0$ $bre_{hr} = 0$
Linkskurve untersteuernd $ \varepsilon_\omega > \omega_{tot}$ - $\delta_v > 0$ - $\varepsilon_\omega > 0$	Druckabsenkung VA kurvenaußen und Schlupferhöhung HA kurvenaußen $bre_{vl} = 0$ Wenn ($p_\omega + dtl_\omega > 0$) dann $bre_{vr} = gpa_\omega * pdtlabs_\omega$ sonst $bre_{vr} = 0$ $bre_{hl} = 0$ $bre_{hr} = gse_\omega * pabs_\omega < s_{max}$
Rechtskurve übersteuernd $ \varepsilon_\omega > \omega_{tot}$ - $\delta_v < 0$ - $\varepsilon_\omega > 0$	Schlupferhöhung VA. $bre_{vl} = gse_\omega * pabs_\omega < s_{max}$ $bre_{vr} = gse_\omega * pabs_\omega < s_{max}$ $bre_{hl} = 0$ $bre_{hr} = 0$
Rechtskurve untersteuernd $ \varepsilon_\omega > \omega_{tot}$ - $\delta_v < 0$ - $\varepsilon_\omega < 0$	Druckabsenkung VA kurvenaußen und Schlupferhöhung HA kurvenaußen Wenn ($p_\omega + dtl_\omega < 0$) dann $bre_{vl} = gpa_\omega * pdtlabs_\omega$ sonst $bre_{vl} = 0$ $bre_{vr} = 0$ $bre_{hl} = gse_\omega * pabs_\omega < s_{max}$ $bre_{hr} = 0$

Tabelle II

Stellsignale bei β -Regelung

Fahrzustand	Art des Eingriffs	
Linkskurve hoher Schwimmwinkel $\beta \geq \beta_{g1} > 0$	Schlupferhöhung VA. Druckabsenkung HA kurveninnen. $\text{bre}_{v1} = \text{gse}_\beta * (\text{pabs}_\beta + \text{dtlabs}_\beta) < s_{\max}$ $\text{bre}_{vr} = \text{gse}_\beta * (\text{pabs}_\beta + \text{dtlabs}_\beta) < s_{\max}$ $\text{bre}_{hl} = \text{gpa}_\beta * \text{dtlabs}_\beta$ $\text{bre}_{hr} = 0$	5 10 15
Linkskurve kritische Situation $\beta \geq \beta_{g2} > \beta_{g1} > 0$	Schlupferhöhung VA. Druckabsenkung HA kurveninnen. $\text{bre}_{v1} = \text{gse}_\beta * (\text{pabs}_\beta + \text{dtlabs}_\beta) < s_{\text{not}}$ $\text{bre}_{vr} = \text{gse}_\beta * (\text{pabs}_\beta + \text{dtlabs}_\beta) < s_{\text{not}}$ $\text{bre}_{hl} = \text{gpa}_\beta * \text{dtlabs}_\beta$ $\text{bre}_{hr} = 0$	20 25
Rechtskurve hoher Schwimmwinkel $\beta \leq \beta_{g1} < 0$	Schlupferhöhung VA. Druckabsenkung HA kurveninnen. $\text{bre}_{v1} = \text{gse}_\beta * (\text{pabs}_\beta + \text{dtlabs}_\beta) < s_{\max}$ $\text{bre}_{vr} = \text{gse}_\beta * (\text{pabs}_\beta + \text{dtlabs}_\beta) < s_{\max}$ $\text{bre}_{hl} = 0$ $\text{bre}_{hr} = \text{gpa}_\beta * \text{dtlabs}_\beta$	30 35 40
Rechtskurve kritische Situation $\beta \leq \beta_{g2} < \beta_{g1} < 0$	Schlupferhöhung VA. Druckabsenkung HA kurveninnen. $\text{bre}_{v1} = \text{gse}_\beta * (\text{pabs}_\beta + \text{dtlabs}_\beta) < s_{\text{not}}$ $\text{bre}_{vr} = \text{gse}_\beta * (\text{pabs}_\beta + \text{dtlabs}_\beta) < s_{\text{not}}$ $\text{bre}_{hl} = 0$ $\text{bre}_{hr} = \text{gpa}_\beta * \text{dtlabs}_\beta$	45 50

Patentansprüche

1. Fahrdynamikregelsystem enthaltend einen übergeordneten Fahrdynamikrechner und einen unterlagerten Bremsenregler, wobei der Fahrdynamikrechner aus Meß- und Schätzgrößen Sollgrößen bestimmt, deren Einregelung mit Hilfe der Einsteuerung von Bremsdrücken an den Radbremsen eine Stabilisierung des Fahrzeugs bewirken, wobei als Meßgrößen die Radgeschwindigkeiten v_{Ri} , die Giergeschwindigkeit w , der Vordereachslenkwinkel δ_v verwendet werden, dadurch gekennzeichnet, daß der Fahrdynamikrechner den Sollwert für die Giergeschwindigkeit w_s aus dem Lenkwinkel δ_v und den Gierverstärkungen w_a und w_b nach Maßgabe der Beziehung

$$w_s(k+1) = w_s(k) + k \times p_{\max wa} [a w_a + (1-a) \times w_b - w_s(k)]$$

bildet, mit der Konstanten k , dem Gewichtungsfaktor a und dem Parameter $p_{\max wa}$, daß der Fahrdynamikregler einen Grenzwert für den Schwimmwinkel β_{g1} aus einem abgespeicherten Kennfeld mit den Argumenten Fahrgeschwindigkeit und ausgenutzter Reibwert ermittelt, daß der Fahrdynamikrechner weiterhin

durch Auswertung der Angabe Links- oder Rechtskurve aus dem Lenkwinkel δ_v und durch Vergleich des geschätzten Schwimmwinkels β mit einer aus dem Grenzwert β_{g1} und dem Gradienten β_p des Schwimmwinkels gebildeten Größe festgelegt, ob Normalregelbetrieb oder Sonderregelungsbetrieb wirksam ist, daß der unterlagerte Bremsenregler zwei Regelkanäle mit Proportional- und Differentialanteil aufweist, von denen

5 der eine bei Normalregelbetrieb wirksam ist und eine Regelung nach Maßgabe der Abweichung ε_w der Giergeschwindigkeit von der Sollgiergeschwindigkeit w_s ($\varepsilon_w = (w_s - w)$) bewirkt, wobei ein proportionaler Anteil p_w und ein differentieller Anteil $dt1_w$ entstehen, daß der andere Regelkanal bei Sonderregelungsbetrieb wirksam ist und eine Regelung nach Maßgabe der Abweichung $\varepsilon_\beta = (\beta_{g1} - \beta)$ bewirkt, wobei ein proportionaler Anteil p_β und ein differentieller Anteil $dt1_\beta$ entstehen, daß aus der Regelabweichung ε_w und dem

10 Lenkwinkel δ_v der Fahrzustand des Fahrzeugs im Vergleich zum Fahrerwunsch einer von mehreren ersten Klassen zugeordnet wird, daß aus dem Schwimmwinkel β und den Grenzwerten der Fahrzustand des Fahrzeugs eines von mehreren zweiten Klassen zugeordnet wird und daß aus der ermittelten ersten bzw. aus der ermittelten zweiten Klasse festgelegte Eingriffe an den einzelnen Radbremsen vorgenommen werden, wobei die durchgeführten Druckänderungen von den Anteilen p_w und $dt1_w$ bzw. p_β und $dt1_\beta$

15 abhängig sind.

2. Fahrdynamikregelsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß w_a und w_b aus den Gierverstärkungen $gref_a$ und $gref_b$ und dem Vorderradlenkwinkel gebildet werden ($w = gref \times \delta_v$) und daß der Gewichtsfaktor a vom Gradienten des Lenkwinkels δ_v abhängig ist.

3. Fahrdynamikregelsystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Gierverstärkungen gemäß den folgenden Beziehungen gebildet werden:

$$gref_a = \frac{v_x}{l_{sp} (1 + v_x^2 / v_{ch}^2)}$$

$$gref_b = \frac{p_{by} \times \mu_a \times g}{v_x \times \sigma_v}$$

wobei v_x die Fahrzeuggeschwindigkeit, l_{sp} der Achsabstand, v_{ch} eine fahrzeugcharakteristische Geschwindigkeit, p_{by} ein Parameter, μ_a der ausgenutzte Reibbeiwert und g die Gravitationskonstante ist.

4. Fahrdynamikregelsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Grenzwert β_{g1} durch Filterung des aus dem Kennlinienfeld ermittelten Rohwerts β_r ermittelt wird.

5. Fahrdynamikregelsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein zweiter Grenzwert $\beta_{g2} = p_k \times \beta_{g1}$ gebildet wird, wobei $p_k > 1$ ist, und daß dieser Grenzwert β_{g2} bei der Festlegung des Regelbetriebs mit ausgenutzt wird.

6. Fahrdynamikregelsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer unterhalb eines kleinen Werts liegenden Fahrzeuggeschwindigkeit Normalregelungsbetrieb wirksam gemacht wird.

7. Fahrdynamikregelsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß auf Normalregelbetrieb rückgeschaltet wird, wenn der Schwimmwinkel β kleiner als der Grenzwert β_{g2} ist und entweder $w \times w_s$ kleiner 0 oder der Betrag von w kleiner dem Produkt aus Betrag von w_s und einem Parameterwert ist.

8. Fahrdynamikregelsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei einem Fahrzeug, das einen Bremsdruckspeicher aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß über eine Hydraulik ein Vordruck aufgebaut wird, wenn die Giergeschwindigkeit über eine Zeit um wenigstens einen Vergleichswert von der Sollgiergeschwindigkeit abweicht und der Gradient der Differenz positiv ist.

9. Fahrdynamikregelsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei einem Fahrzeug, das einen Bremsdruckspeicher aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß über eine Hydraulik Vordruck aufgebaut wird, wenn ein bestimmter Schwimmwinkel überschritten wird und sein Gradient positiv ist.

10. Fahrdynamikregelsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß aus den Proportional- und Integralanteilen p_w , p_β , $dt1_w$ und $dt1_\beta$ Größen

$$\begin{aligned} pabs_w &= |p_w| \times abr_faktor \\ pabs_\beta &= |p_\beta| \\ dt1abs_w &= |p_w + dt1_w| \times abr_faktor \\ dt1abs_\beta &= vdt1_\beta \times |dt1_\beta| \end{aligned}$$

wobei abr_faktor ein Abregelfaktor ist, d r von der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängt und die Stellgrößen $pabs_w$ und $dt1abs_w$ unterhalb einer kleinen Geschwindigkeit abschwächt und $vdt1_\beta$ ein Verstärkungsfaktor ist.

11. Fahrdynamikregelsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß fünf erste Klassen

$\delta_v \geq 0$ und $\varepsilon_w < 0$ und $|\varepsilon_w| > w_{tot}$
 $\delta_v \geq 0$ und $\varepsilon_w > 0$ und $|\varepsilon_w| > w_{tot}$
 $|\varepsilon_w| \leq w_{tot}$
 $\delta_v < 0$ und $\varepsilon_w > 0$ und $|\varepsilon_w| > w_{tot}$
 $\delta_v < 0$ und $\varepsilon_w < 0$ und $|\varepsilon_w| > w_{tot}$

5

festgelegt sind, wobei w_{tot} eine Totzone um den 0-Punkt ist und daß diesen Klassen bestimmte Bremsen-
griffe zugeordnet sind.

12. Fahrdynamikregelsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß vier zweite
Klassen

10

$\beta \geq \beta_{g1} > 0$
 $\beta \geq \beta_{g2} > \beta_{g1} > 0$
 $\beta \leq \beta_{g1} < 0$
 $\beta \leq \beta_{g2} < \beta_{g1} < 0$

15

festgelegt sind und daß diesen Klassen Bremsen-
griffe an den Rädern zugeordnet sind.

13. Fahrdynamikregelsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß dem Fahrdy-
namikrechner zusätzlich ein Hinterachslenkwinkelregler nachgeschaltet ist, der einen Fahrzeuggierge-
schwindigkeitsreglerkanal und einen Reglerkanal zur Begrenzung des Schwimmwinkels aufweist, wobei der
Sollwert für die Giergeschwindigkeit und die Grenzwerte für den Schwimmwinkel sowie die Festlegung
welcher Kanal wirksam ist vom Fahrdynamikrechner bestimmt wird und daß jeder Regelkanal ein dem
einzustellenden Hinterachslenkwinkel kennzeichnendes Signal erzeugt.

20

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

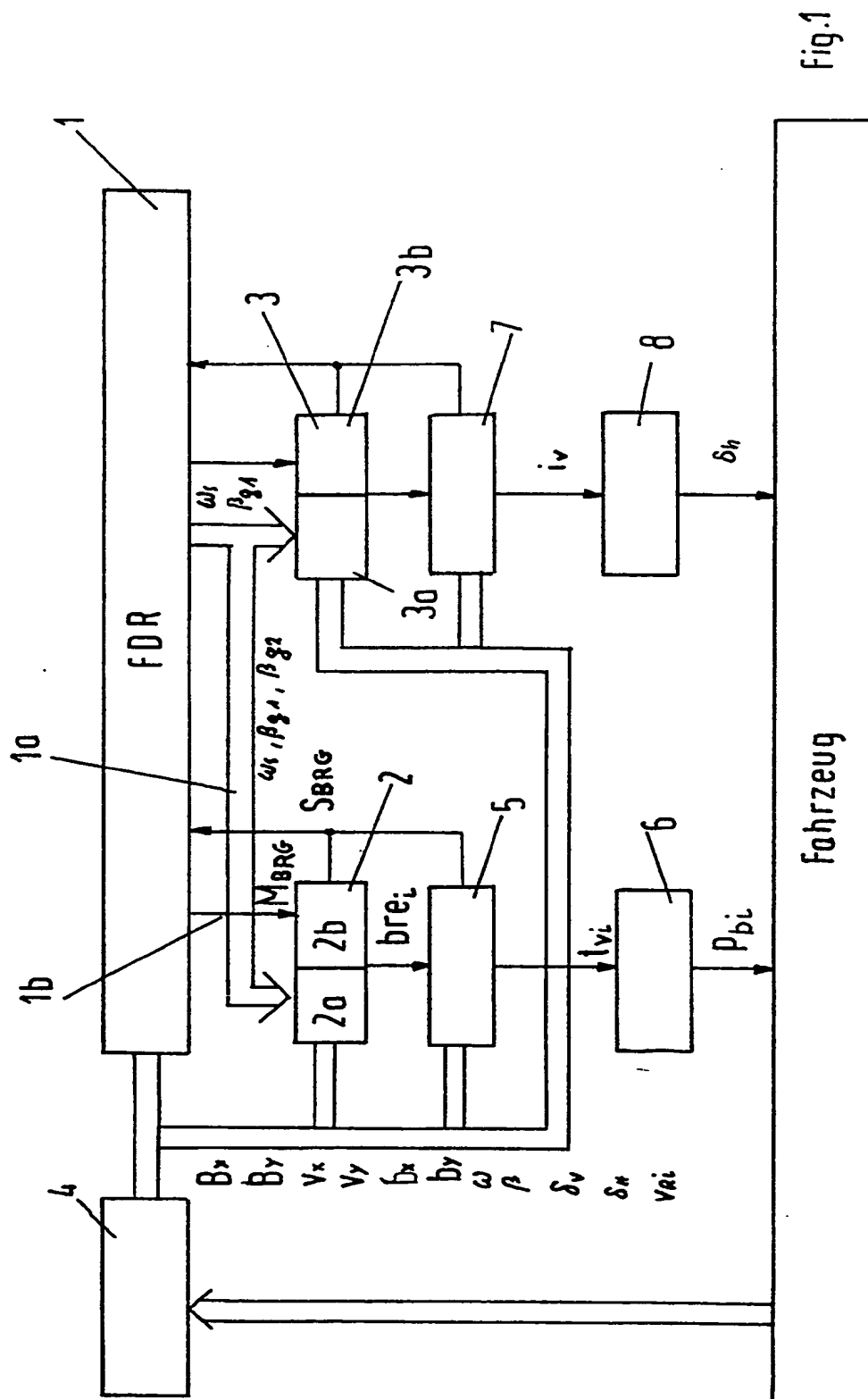


Fig.1

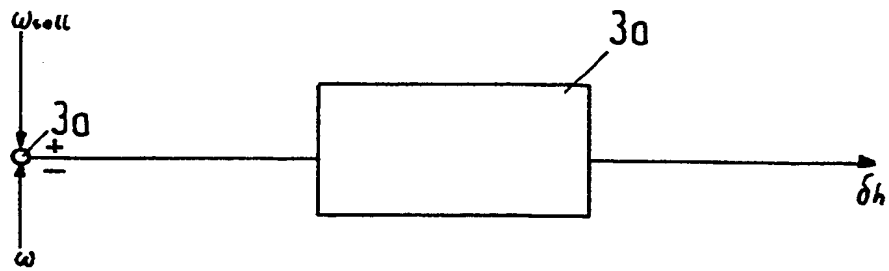


Fig. 2

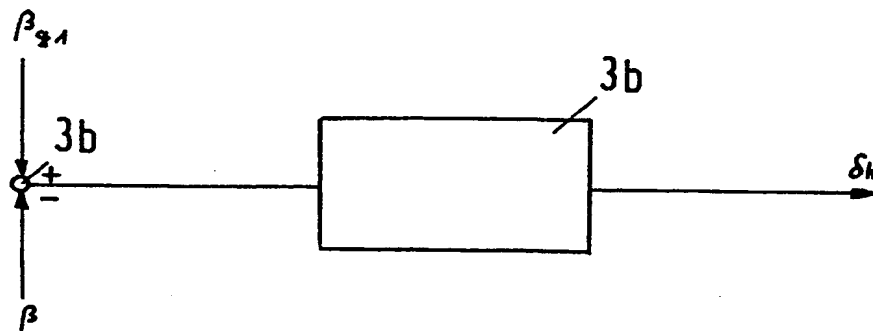


Fig. 3